

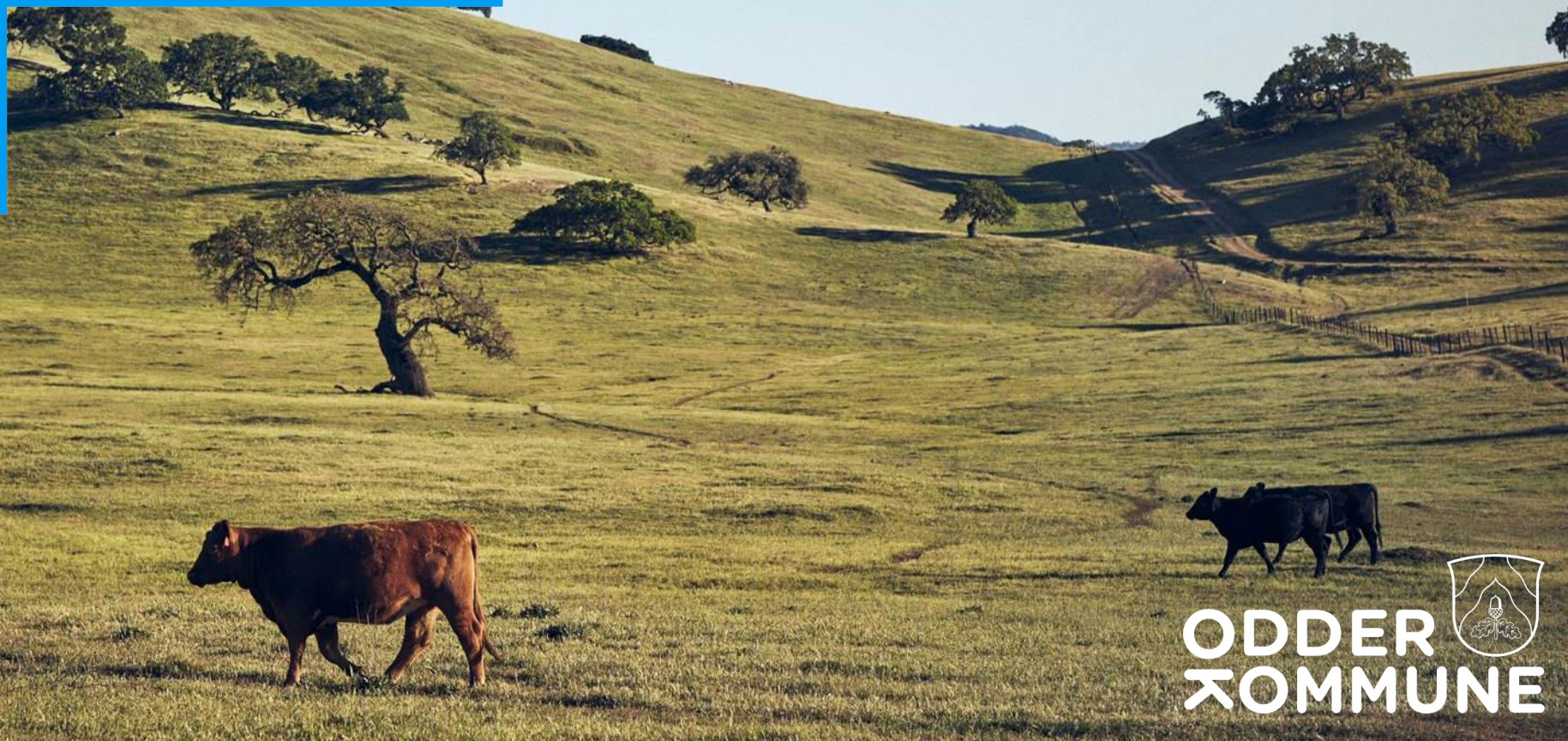
# Monitering af PFAS ved tidl. losseplads – Er grundvand nok?

ATV Vintermøde 2025

v/ Teamleder, civilingeniør Jette Kjøge Olsen

**RAMBOLL**

Bright ideas.  
Sustainable change.



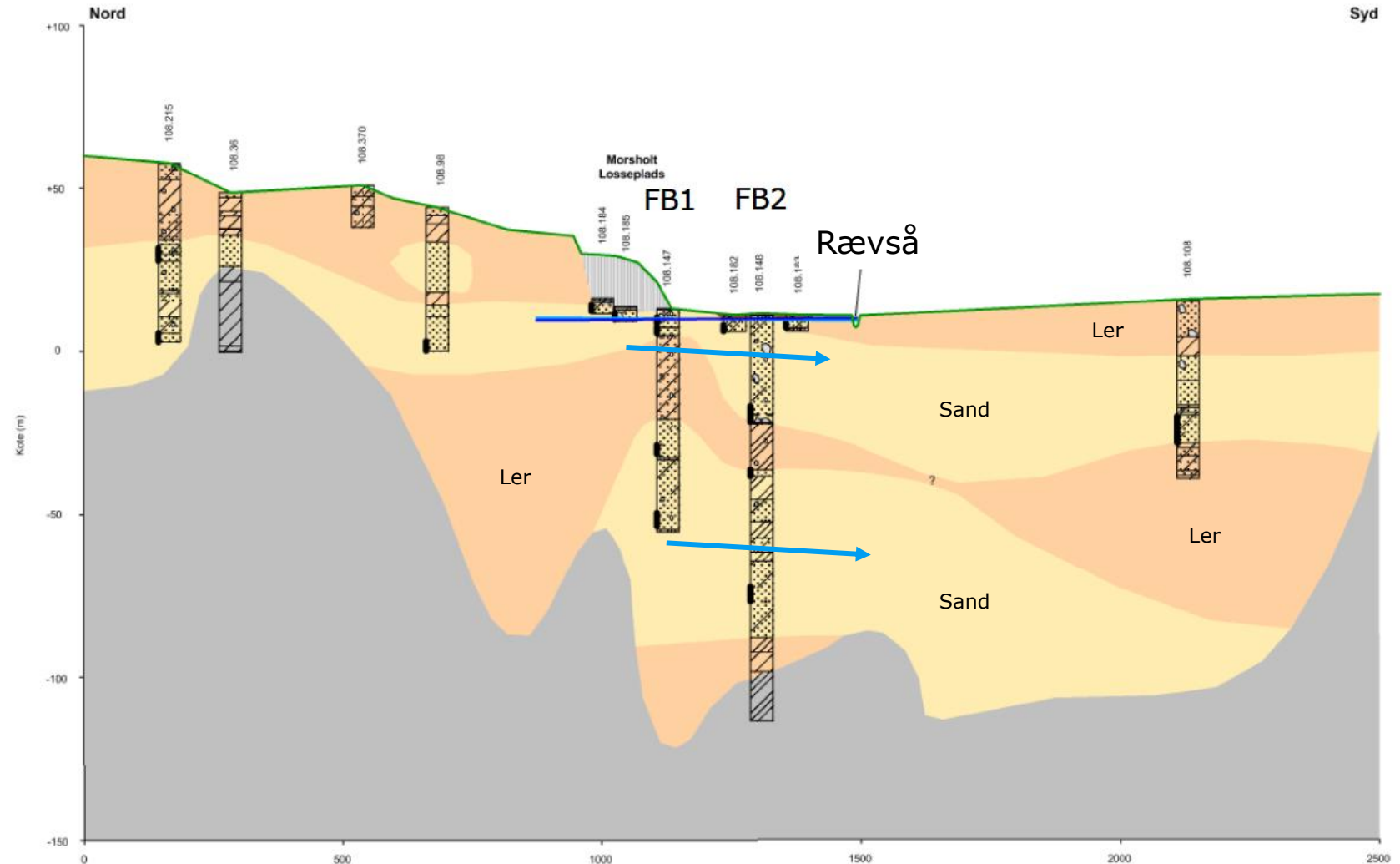
# Grundvandsmonitering ved tidl. losseplads

- Moniteringssag for Odder kommune, Birgit Kristensen
- I perioden 1967-1979 - deponi for bl.a. dagrenovation og slam i tidligere grusgrav på ca. 1,5 ha stort areal i Odder kommune
- Området anvendes til græsning af kvæg og dyrkning af afgrøder
- Offentlig adgang – med dejlige bærtræer mv.
- Rambøll har stået for monitering af lossepladsen siden 2000
- I 2021 har kommunen på eget initiativ undersøgt for PFAS og efterfølgende er der udført supplerende PFAS-undersøgelse i 2022.



# Konceptuel model

- OSD område
- Ca. 1,2 km sydvest almene vandforsyningsboring
- Geologien - kompleks - begravet dal
- 2 grundvandsmagasiner - adskilt af moræneler – ssv. hydraulisk kontakt
- Sekundært GVS - sydlig strømningsretning - påvirket af markdræn og Rævså
- Primært GVS – sydøstlig strømningsretning



Figur 3-1: Geologisk snit som viser filterplaceringerne (sort streg ved boreprofil) i det sekundære og primære magasin /15/.

# PFAS undersøgelser ved tidl. losseplads

## Indledende PFAS-undersøgelse 2021:

- Undersøgelse af PFAS i grundvandet i to monitoringsboringer.

## Supplerende PFAS-undersøgelser 2022:

- Undersøgelse af PFAS:
  - 2 græsprøver blandeprøver á 6 delprøver af græs (uden rodnet)
  - 2 tilhørende blandeprøver af jord i 0,0-0,4 m u.t. da der blev truffet rodnet i hele denne dybde
  - 4 grundvandsprøver fra monitoringsboringer
  - vand fra samlebrønd fra markdræn med udløb til Rævså
  - prøve af mælk fra græssende køer – blandeprøve fra 5 køer, som er fodret med græsset min. 3 gange i deres levetid
  - to typer bær (blommer og kirsebær) fra to forskellige steder

## Hvorfor udvide undersøgelsen til mere end grundvand?

- PFAS bioakkumuleres gennem fødekæder og udgør en sundhedsrisici for biota og mennesker
- Offentligt adgang!



# Prøvetagning

## Prøveudtagning – undgå krydskontaminering

- Græsprøven blev klippet med saks og overført direkte i emballage
- Bær blev plukket fra træerne med nitrilhandsker og direkte i rilsanpose
- Køer blev malket direkte i rilsanpose og hældt over i emballage
- Vandprøver udtages direkte i emballage med engangsudstyr
- **MST rapport:** Krydskontaminering og test af udstyr:

<https://mst.dk/publikationer/2024/februar/pfas-proevetagnings-procedurer-og-tests-af-feltudstyr>



**Σ22 PFAS:** PFBS, PFPS, PFHxS, PFHpS, PFOS, **PFNS**, PFDS, **PFUnS**, **PFDoS**, **PFTTrS**, **PFOSA**, **6:2 FTS**, PFBA, PFPA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTTrDA

**Σ24 PFAS:** PFBS, PFPS, PFHxS, PFHpS, PFOS, PFDS, PFBA, PFPA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFDoDA, PFTTrDA, **PFTeDA**, **PFHxDA**, **PFODA**, **6:2 FTOH**, **8:2 FTOH**, **GenX**, **ADONA**, **C604**

(**Rød**: Stoffer der ikke indgår i begge kriterier)

# Grænseværdier for PFAS

- Grænseværdierne for jord, grundvand, overfladevand og biota er ikke sammenlignelige pga. forskellige sum-kriterier

Udvalgte kriterier/krav	Σ4 PFAS	Σ22 PFAS	PFOS og derivater hertil	TFA	PFOA-ækvivalenter Σ24 PFAS
<b>Jord</b>	10 µg/kg TS	400 µg/kg TS			
<b>Grundvand</b>	2 ng/l	100 ng/l			
<b>Drikkevand</b>	2 ng/l	100 ng/l		9.000 ng/l	
<b>Overfladevand</b> (ferskvand - generelt)			0,65 ng/l	560.000 ng/l	4,4 ng/l
<b>Biota</b> (human konsum)			9,1 µg/kg vådvægt		0,077 µg/kg vådvægt
<b>Biota</b> (ferskvand - fisk)			9,1 µg/kg vådvægt		22,3 µg/kg fisk vådvægt

PFAS Stoffer	Relative potency factors
PFBA (Perfluorbutansyre)	0,05
PFPeA (Perfluorpentansyre)	$0,01 \leq RPF \leq 0,05$
PFHxA (Perfluorhexansyre)	0,01
PFHpA (Perfluorheptansyre)	$0,01 \leq RPF \leq 1$
PFOA (Perfluoroktansyre)	1
PFNA (Perfluorononansyre)	10
PFDA (Perfluordekansyre)	$4 \leq RPF \leq 10$
PFUnDA (Perfluorundekansyre) eller PFUnA	4
PFDoDA (Perfluordodekansyre) eller PFDoa	3
PFTrDA (Perfluortridekansyre)	$0,3 \leq RPF \leq 3$
PFTeDA	0,3
PFHxDA	0,02
PFODA	0,02
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	0,001
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	$0,001 \leq RPF \leq 0,6$
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	0,6
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	$0,6 \leq RPF \leq 2$
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	2
PFDS (Perfluordekanesulfonsyre)	2
6:2 FTOH (6:2 Fluortelomer alkohol)	0,02
8:2 FTOH (8:2 Fluortelomer alkohol)	0,04
HFPO-DA (Gen X)	0,06
ADONA	0,03
C604	0,03

PFAS sum 4, jf. jord og grundvandskriterie er fremhævet ved brug af mørkegrøn farve.  
 PFAS sum 22, jf. jord og grundvandskriterie er fremhævet ved brug af lysegrøn farve.

## Vandkvalitetskriterium i overfladevand - Nye pr. 23. nov. 2023

Sum af **PFOA-ækvivalenter** for 24 PFAS:

dvs. stof-specifik faktor (RPF) for stoffets **relative toksicitet i forhold til stoffet PFOA**.

24 PFAS udvalgt baseret på mængden af (øko)toksicitetsdata og fysisk-kemiske parametre (herunder analytiske metoder)

Acceptable koncentration, der ikke fører til uønskede **langtidseffekter** over for organismer i vandmiljøer.

**4,4 ng/l i ferskvand**

**4,4 ng/l i saltvand**

PFAS Stoffer	Relative potency factors
PFBA (Perfluorbutansyre)	0,05
PFPeA (Perfluorpentansyre)	$0,01 \leq RPF \leq 0,05$
PFHxA (Perfluorhexansyre)	0,01
PFHpA (Perfluorheptansyre)	$0,01 \leq RPF \leq 1$
PFOA (Perfluoroktansyre)	1
PFNA (Perfluorononansyre)	10
PFDA (Perfluordekansyre)	$4 \leq RPF \leq 10$
PFUnDA (Perfluorundekansyre) eller PFUnA	4
PFDODA (Perfluordodekansyre) eller PFDoa	3
PFTTrDA (Perfluortridekansyre)	$0,3 \leq RPF \leq 3$
PFTeDA	0,3
PFHxDA	0,02
PFODA	0,02
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	0,001
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	$0,001 \leq RPF \leq 0,6$
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	0,6
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	$0,6 \leq RPF \leq 2$
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	2
PFDS (Perfluordekansulfonsyre)	2
6:2 FTOH (6:2 Fluortelomer alkohol)	0,02
8:2 FTOH (8:2 Fluortelomer alkohol)	0,04
HFPO-DA (Gen X)	0,06
ADONA	0,03
C604	0,03

PFAS sum 4, jf. jord og grundvandskriterie er fremhævet ved brug af mørkegrøn farve.  
 PFAS sum 22, jf. jord og grundvandskriterie er fremhævet ved brug af lysegrøn farve.

## Vandkvalitetskriterium i overfladevand - Nye pr. 23. nov. 2023

- Kun 16 PFAS er med i PFAS22, dvs. vi mangler 8 stoffer ift. PFAS 24
- De 6 stoffer i  $\Sigma 22$  PFAS-kriterium, der ikke er med:
  - PFOSA
  - PFNS
  - PFUnS
  - PFDoS
  - PFTTrS
  - 6:2 FTS
- Dem der har størst betydning – højst faktor – mest farlige er **PFNA og PFDA**, to langkædet PFAS-stoffer
- Nyere PFAS'er der erstatter PFOS, f.eks. GenX og Adona
- Flygtige PFAS FTOH'er, der findes i indeklime og udeluft

OBS!  
ikke de samme  
som  $\Sigma 22$  PFAS



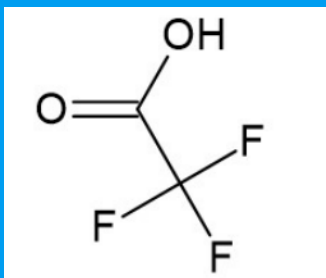
PFAS Stoffer	Relative potency factors
PFBA (Perfluorbutansyre)	0,05
PFPeA (Perfluorpentansyre)	$0,01 \leq RPF \leq 0,05$
PFHxA (Perfluorhexansyre)	0,01
PFHpA (Perfluorheptansyre)	$0,01 \leq RPF \leq 1$
PFOA (Perfluoroktansyre)	1
PFNA (Perfluornonansyre)	10
PFDA (Perfluordekansyre)	$4 \leq RPF \leq 10$
PFUnDA (Perfluorundekansyre) eller PFUnA	4
PFDoDA (Perfluordodekansyre) eller PFDoa	3
PFTriDA (Perfluortridekansyre)	$0,3 \leq RPF \leq 3$
PFTeDA	0,3
PFHxDA	0,02
PFODA	0,02
PFBS (Perfluorbutansulfonsyre)	0,001
PFPeS (Perfluorpentansulfonsyre)	$0,001 \leq RPF \leq 0,6$
PFHxS (Perfluorhexansulfonsyre)	0,6
PFHpS (Perfluorheptansulfonsyre)	$0,6 \leq RPF \leq 2$
PFOS (Perfluoroktansulfonsyre)	2
PFDS (Perfluordekanesulfonsyre)	2
6:2 FTOH (6:2 Fluortelomer alkohol)	0,02
8:2 FTOH (8:2 Fluortelomer alkohol)	0,04
HFPO-DA (Gen X)	0,06
ADONA	0,03
C604	0,03

PFAS sum 4, jf. jord og grundvandskriterie er fremhævet ved brug af mørkegrøn farve.  
 PFAS sum 22, jf. jord og grundvandskriterie er fremhævet ved brug af lysegrøn farve.

## Vandkvalitetskriterium i overfladevand - Nye pr. 23. nov. 2023

- OBS! Ikke et **krav men et kriterium** – kommuner mulighed for at sætte grænseværdi for overfladevand og spildevand
- Ved beregning af **sum sættes under detektionsgrænse til nul**
- I EU-databladet med kvalitetskriterier for sum af 24 PFAS er der derfor tilføjet en note, at det anbefales, at hvor **RPF er angivet som interval bør middelværdien**, som udgangspunkt anvendes, hvis ikke andre konkrete vurderinger kan lægges til grund.
- Link til databladet findes her:  
[https://mst.dk/media/uhto5oyq/pfas\\_miljoekvalitetskriterier.pdf](https://mst.dk/media/uhto5oyq/pfas_miljoekvalitetskriterier.pdf)

- TFA strukturformel:



## Vandkvalitetskriterium i overfladevand - Nye pr. 18. januar 2024

<i>Vandkvalitetskriterium</i>	Trifluoreddikesyre (TFA)				
Ferskvand		560	µg/L		
Saltvand		56	µg/L		
<i>Korttidsvandkvalitetskriterium</i>					<u>Miljøkvalitetskriterium</u>
Ferskvand		2370	µg/L		
Saltvand		237	µg/L		

- **TFA - trifluoreddikesyre** – stærk syre
- **Kortkædet PFAS** - spredes derfor over store afstand i grundvandet
- Findes i grundvandet mange steder i Danmark - I 2020 blev TFA i forbindelse med en screening fundet i ca. **89%** af de analyserede indtag ved grundvandsovervågning
- TFA er et **nedbrydningsprodukt** af mange forskellige andre PFAS-stoffer (>2000) f.eks. trifluorpesticider og kølemidler – disse nedbrydes til TFA i atmosfæren og spredes med regn – diffus forurening
- Der er ikke observeret nedbrydelighed af TFA i test - **persistent**
- Anses for **ikke bioakkumulerbart** – ingen forsøg vist bioakkumulering, men kan optages af planter
- Dog meget høj generel kriterium – 560.000 ng/l i ferskvand <sup>1</sup>

- I grundvandet overskrides  $\Sigma 4$ PFAS i tre af boringerne
- Der påvises ikke PFAS i græs og mælk
- Der påvises indhold i markdrænuudløb til rævså, dog under kriterierne
- I bærrerne påvises der kun én forbindelse: 6:2 FTS



## Analyseresultater

Prøve ID	Enhed	Grundvand		Overfladevand (Generelt - ferskvand)			Biota (føde)	
		$\Sigma 4$ PFAS	$\Sigma 22$ PFAS	PFOS	6:2 FTS	PFOA-ækvivalenter $\Sigma 24$ PFAS	PFOA-ækvivalenter $\Sigma 24$ PFAS	
Boring 1 (4,8-6,8 m u.t.)	ng/l	18	37	3,3	<0,3	-	-	
Boring 2 (4,0-6,0 m u.t.)		20	43	0,53	<0,3	-	-	
Boring 3 (2,0-3,8 m u.t.)		30	47	<0,2	<0,3	-	-	
Boring 4 (2,0-3,8 m u.t.)		0,23	0,23	<0,3	<0,3	-	-	
Markdræn, udløb til Rævså	ng/l	0,59	1,6	i.p.	i.p.	1,6*	-	
Kriterium	ng/l	2	100	0,65	-	4,4	-	
Mælk	$\mu\text{g}/\text{kg}$ vådvægt	-	-	i.p.	i.p.	-	i.p.*	
Græs		-	-	i.p.	i.p.	-	-	
Blommer (v. boring 3)		-	-	i.p.	0,028	-	0,028*	
Kirsebær (v. boring 1)		-	-	i.p.	0,023	-	0,023*	
Kriterium	$\mu\text{g}/\text{kg}$ vådvægt	-	-	-	-	4,4	0,077	

**FED:** over kvalitetskriterium

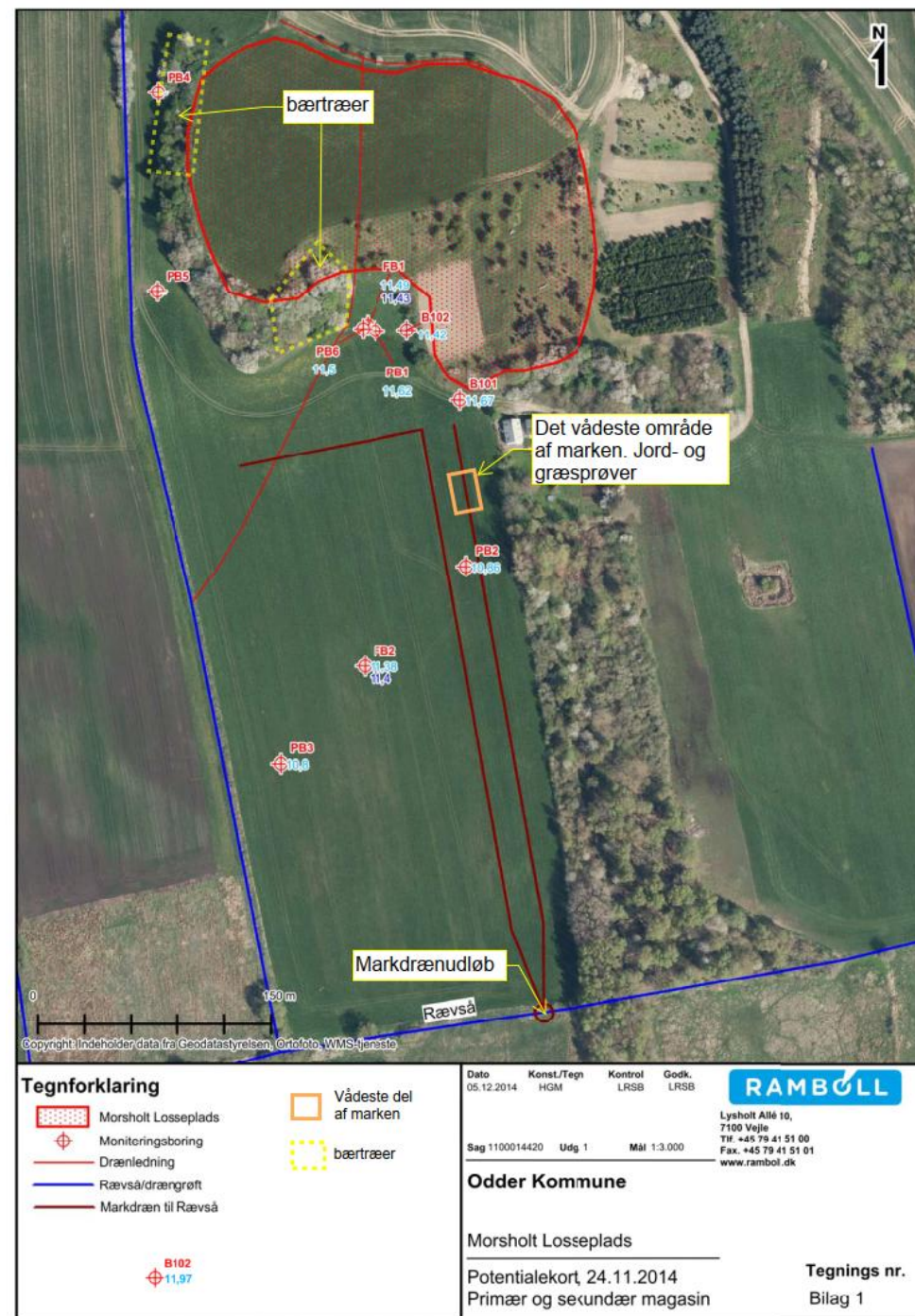
i.p.: Ikke påvist

i.a.: Ikke analyseret

- Intet kriterie

\* Sum 16 PFAS ikke alle PFAS 24

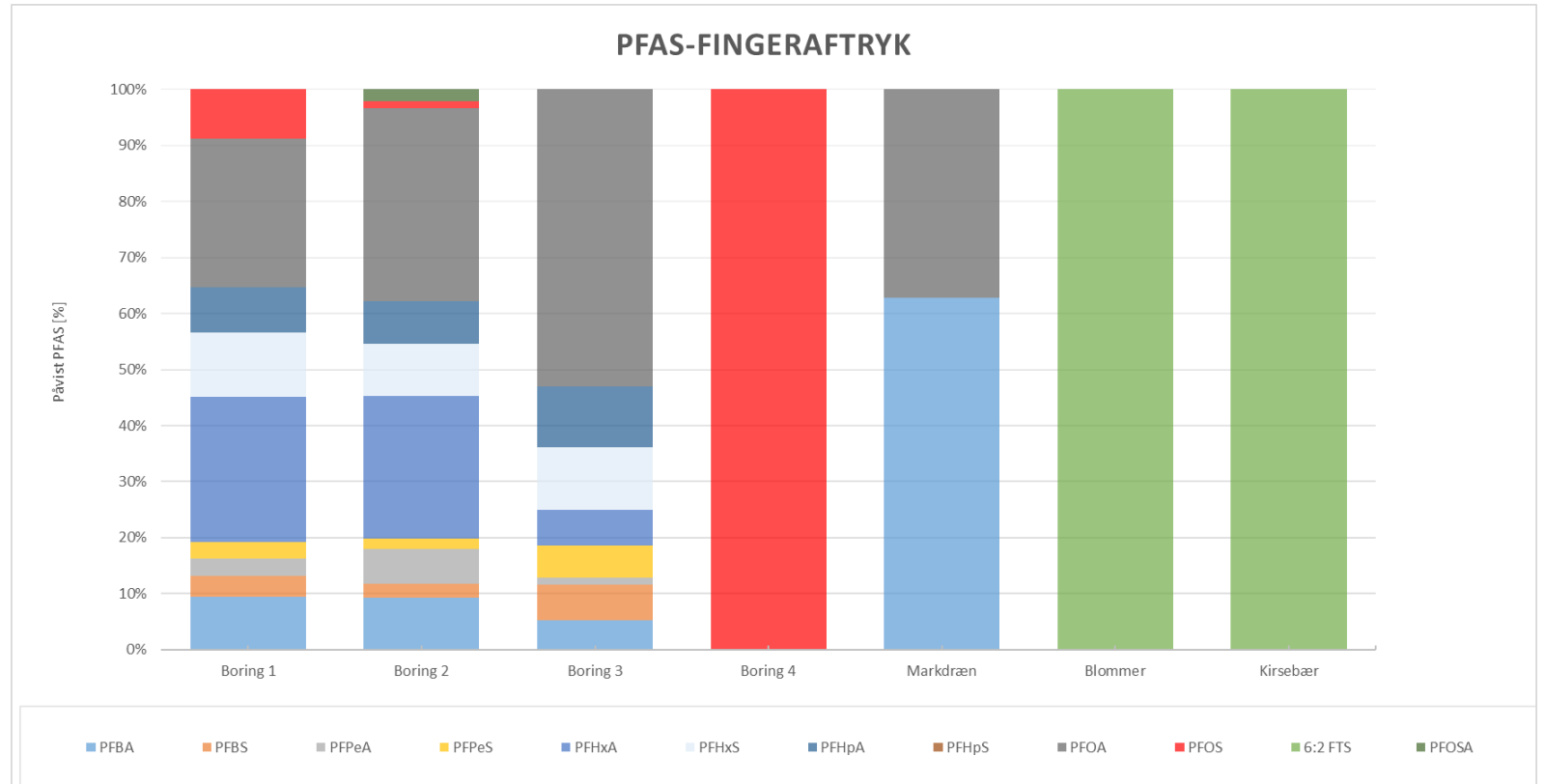
- Placering af prøvetagningspunkter
- I bærrerne påvises 6:2 FTS - en precursor der bl.a. kan omdannes til PFBA, PFPeA og PFHxA
- 6:2 FTS er dog ikke påvist i grundvandet, men stoffer det kan omdannes til er.



- PFAS-fingerprint for påvist indhold for at sammenligne de påviste PFAS-forbindelser
- Nogenlunde samme stoffer i grundvandsprøverne og markdræn
- Vores teori er at 6:2 FTS i bærrerne kan stamme fra precursor i grundvandet, der ikke er analyseret for med de 22 PFAS
- Fluortelomerer og fluortelomer-amider, som ikke nemt kan detekteres og kan hurtigt nedbrydes til fx. 6:2-FTS ved rette betingelser <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Notat fra DTU fødevarerinstitut, 10. oktober 2022

## Er der en sammenhæng?





# Hvor mange bær må vi spise fra træerne?

- DTU Fødevareinstitut har udført sundhedsmæssig vurdering af indhold.
- Ved de fundne indhold af 6:2 FTS i kirsebær og blommer vurderes det at et gennemsnitligt indtag for børn og voksne af bærene vil betyde at **maksimalt op til 0.4% af den estimerede tålelig ugentlig indtag (TWI)** vil optages af bærene. Vi vurderer derfor at der formentlig **ikke** er en **sundhedsmæssig risiko ved et gennemsnitligt indtag af bærene**.
- Det antages på baggrund af økotoxikologiske studier og i mindre grad human toksikologiske studier (der generelt mangler), at **6:2 FTS er 10 gange mindre potent end PFOS**, men dette estimat er selvsagt forbundet med stor usikkerhed.
- Derfor er en **TWI på 44 ng/kg/uge** for 6:2 FTS anvendt ved beregningerne. <sup>1</sup>

<sup>1</sup> fra DTU fødevareinstitut, 10. oktober 2022 Notat

# Hvor mange bær må vi spise fra træerne?

**Eksempel (Børn 4-6 år):** Risikovurdering af 6:2 FTS indhold i blommer

**Fund:** 28 ng 6:2 FTS /kg blommer

Tålelig ugentlig indtag: TWI 4.4 ng/kg/uge for  $\Sigma$ 4PFAS. **Vi antager at 6:2 FTS er 10 gange mindre potent end PFOS** => TWI 44 ng/kg/uge  
=> 6.3 ng/kg/dag

Børn 4-6 år indtager gennemsnitligt **15.8 g blommer/dag**.

Kropsvægt er sat til 18 kg.

Hvor meget 6:2 FTS:  $(28 \text{ ng } 6:2 \text{ FTS}/1000\text{g}) \times 15.8 \text{ g/dag} = 0.44 \text{ ng } 6:2 \text{ FTS/dag}$

Tålelig daglig indtag: TDI =  $6.3 \text{ ng/kg/dag} = 6,3 \text{ ng/kg/dag} \times 18 \text{ kg} = 113.4 \text{ ng } 6:2 \text{ FTS/dag/person}$

Dvs. 0.4 % af TDI'en bliver optaget ved indtagelse af de forurenede blommer. <sup>1</sup>

**Børn skal spise ca. 4 kg blommer pr. dag for at få det daglige tålelige indtag!**

<sup>1</sup> fra DTU fødevarerinstitut, 10. oktober 2022 Notat

# Konklusion

- Det er **vigtigt ikke kun at undersøge grundvand ved vores monitoringsager på lossepladser**, men også undersøge om der findes græssende dyr og spiselige afgrøder, især hvis offentlig adgang – PFAS kan optages gennem forurenede jord eller grundvand
- Husk de **nye miljøkriterier til overfladevand – PFOA-ækvivalenter** - PFAS24 - kun 16 af de 22 PFAS – ikke alle 24 PFAS er lige farlige, derfor anvendes RPF-værdi i ift. PFOA
- Husk det nyeste skud på stammen i overfladevand – **TFA**
- Det kan kræve **ekstra prøvetagningsrunder** for at afdække risikoen, dog er de 8 PFAS der mangler dem med de laveste RPF værdier
- Overvej **prøvetagning for at undgå krydskontaminering** – meget lave grænseværdier og flere findes diffust



# Perspektivering

- Det kan være relevant at undersøge hvorvidt **saften fra bærrene** kan undersøges med samme analysemetode som grundvandet, hvor detektionsgrænsen er lavere.
- Alternativt kan der anvendes **analysemetoder**, hvor der analyseres for 75 PFAS eller der udføres en TOP-analyse (Total Oxidable Precursorer), hvor **precursorer** omdannes ved oxidering
- Ved beregning af sum for **PFOA-ækvivalenter** sættes indhold under detektionsgrænse til nul og der anvendes middelværdi i beregning – ikke worst case – der kan jo være indhold op til detektionsgrænsen vi overser – robust risikovurdering?
- Vurder på risikoen - ift. den RPF (Relativ Potens Faktor) - farligheden
- **TFA** – ultra kortkædet PFAS-forbindelse – suser afsted i grundvandet, og vi finder TFA i rigtig mange grundvandsvandprøver pga. blandt andet diffus forurening – kan vi overholde kravet?
- OBS! Rigtig mange kriterier og krav til PFAS-stoffer – og der kommer hele tiden nye i mange forskellige medier!

Tak for  
opmærksomheden

# Spørgsmål?



Jette Kjøge Olsen  
Teamleder,  
Civilingeniør  
[JETK@ramboll.dk](mailto:JETK@ramboll.dk)  
Mobil: 51 61 24 06